



**Calcolo automatico dei valori di picco  
in velocità, accelerazione e spostamento  
a partire da dati velocimetrici**

**Massa M., D'Alema E., Marzorati S. e Augliera P.**

**RAPPORTO TECNICO INGV-MI**

**Novembre 2005**

**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**

**Sezione di MILANO**

Via Bassini 15 - 20133 Milano

[www.ingv.it](http://www.ingv.it)



# **Calcolo automatico dei valori di picco in velocità, accelerazione e spostamento a partire da dati velocimetrici.**

Marco Massa  
tel. 02-23699251  
email: [massa@mi.ingv.it](mailto:massa@mi.ingv.it)

Ezio D'Alema  
tel. 02-23699268  
email: [dalema@mi.ingv.it](mailto:dalema@mi.ingv.it)

Simone Marzorati  
tel. 02-23699263  
email: [marzorati@mi.ingv.it](mailto:marzorati@mi.ingv.it)

Paolo Augliera  
tel. 02-23699277  
email: [augliera@mi.ingv.it](mailto:augliera@mi.ingv.it)

## 1. Introduzione

Nel presente rapporto tecnico vengono descritte le principali caratteristiche di una procedura automatica di analisi ed elaborazione del dato sismico realizzata tramite una serie di routines appositamente create utilizzando sia il linguaggio di programmazione *fortran* sia la programmazione *script bash-shell*. La base di partenza di tale procedura è allo stato attuale rappresentata da una serie di forme d'onda velocimetriche registrate e raccolte, per ciascun evento sismico occorso sul territorio nazionale, a partire da tre differenti sorgenti di dati: forme d'onda registrate dalle stazioni INGV-MI (INGV, Sezione di Milano), forme d'onda registrate da stazioni INGV RSNC (Rete Sismica Nazionale Centralizzata) satellitari, gestite dal Centro Nazionale Terremoti (CNT) e forme d'onda registrate da stazioni sismiche INGV RSNC non satellitari a tre componenti. La procedura di analisi presentata nel presente rapporto si articola attraverso i punti di seguito riportati:

- 1) scarico di dati velocimetrici in tempo semi-reale (in formato ASCII) registrati da tutte le stazioni sismiche RSNC satellitari installate sul territorio nazionale;
- 2) scarico (<http://waves.ingv.it/index-database.html>) di dati velocimetrici (in formato sac-sun binario) pregressi (sono attualmente disponibili in rete dati velocimetrici registrati nel periodo 01.01.1988 - 31.12.2003) registrati da tutte le stazioni sismiche RSNC a tre componenti non satellitari;
- 3) acquisizione ed archiviazione di dati velocimetrici (in formato sac-linux binario, <http://www.llnl.gov/sac/>) registrati da stazioni sismiche a tre componenti direttamente gestite dalla Sezione INGV Milano, attive a partire dall'anno 2003;
- 4) creazione di un nuovo data set tramite integrazione e sincronizzazione temporale dei dati RSNC con le forme d'onda registrate dalle stazioni sismiche a tre componenti gestite dalla Sezione INGV-MI;
- 5) Conversione in formato ASCII (una colonna) di tutti i dati raccolti (espressi in m/s), indipendentemente dal formato originale dei dati (a partire dai successivi steps la procedura descritta è generalizzabile anche a dati provenienti da sorgenti diverse rispetto a quelle sopra elencate, se convertiti in tale formato);
- 6) conversione di tutti i dati velocimetrici disponibili sia in accelerazione sia in spostamento;
- 7) calcolo automatico di PGHA (peak ground horizontal acceleration), PGHV (peak ground horizontal velocity), PGHD (peak ground horizontal displacement) e PGD-WA (picco di spostamento della traccia sismica deconvoluta per la risposta strumentale e

successivamente convoluta utilizzando la curva di risposta di un sismometro Wood Anderson) per ogni forma d'onda convertita;

- 8) calcolo della magnitudo locale per eventi caratterizzati da distanze ipocentro-stazione minori di 300 Km;
- 9) output procedura: files postscript (mappa dei picchi registrati e confronto dei dati di PGHA e PGHV reali con alcune fra le più utilizzate curve di attenuazione teorica disponibili in bibliografia - Sabetta and Pugliese, 1996; Ambraseys, 1996a,b; Frisenda et al. 2005) ed una serie di tabelle riassuntive, in formato testo, dei principali parametri caratterizzanti ogni evento analizzato.

La procedura automatica di derivazione del dato velocimetrico è stata testata confrontando direttamente una serie di tracce accelerometriche ottenute a partire da velocimetri con segnali accelerometrici reali registrati sia dalla stazione accelerometrica LAB2, installata presso la sede INGV Milano, sia dalla stazione MER8, installata presso il Comune di Merate (LC). In entrambi i casi le stazioni menzionate sono allo stato attuale equipaggiate con acquisitori MARS88/MC (<http://www.lennartz-electronics.de>.) accoppiati sia con un sensore velocimetrico Trillium Nanometrics (<http://www.nanometrics.ca>) sia con un sensore accelerometrico Episensor Kinometrics ([http://www.kinometrics.com/product\\_Content.asp?newsid=111](http://www.kinometrics.com/product_Content.asp?newsid=111)).

## **2. DESCRIZIONE DELLA PROCEDURA DI ANALISI**

La procedura di conversione ed elaborazione del dato in seguito descritta è stata realizzata in ambiente *Linux*; tutti i programmi e le shells sono stati compilati e testati su macchine con sistema operativo *Linux Suse 9.2* (nel proseguo sarà data per scontata la conoscenza da parte del lettore dei termini informatici di base in ambiente *Linux*). Tutti i files della procedura sono stati archiviati in un file chiamato: "PROCEDURA.tar". Presso la Sezione INGV Milano è attualmente possibile scaricare in tempo semi-reale le forme d'onda delle stazioni satellitari gestite dalla rete RSNC tramite un collegamento dedicato con la sala sismica, utilizzando software creati dalla Nanometrics; a differenza dei dati velocimetrici registrati da stazioni gestite direttamente dalla Sezione di Milano, ed archiviate su macchine con sistema operativo *Linux Suse 8.1*, le forme d'onda satellitari vengono allo stato attuale raccolte su macchine con sistema operativo *Windows2000*. I dati provenienti da stazioni RSNC non satellitari sono scaricabili dal Web al seguente URL: <http://waves.ingv.it/index-database.html>. In fig.1 è riportato il diagramma di flusso che descrive i principali passaggi della procedura.

## DESCRIZIONE DELLA PROCEDURA:

Dopo aver estratto i files contenuti in "PROCEDURA.tar" nella directory di lavoro verrà creata la struttura caratterizzata dalle seguenti directory e sottodirectory:

(es: user@user:~/PROCEDURA/)

```
accelerogrammi/  
accelerogrammi/sensori/  
accelerogrammi/tracce/  
dati_ASCII/  
dati_INGV_MI/  
dati_INGV_SCARICATI/  
dati_INGV_SCARICATI/formato_sun/  
dati_PITSA/  
dati_SATURI/  
dati_PLOT/  
dati_PLOT/accelerazione/  
dati_PLOT/velocita/  
PGA_PGV_PGD/  
PGA_PGV_PGD/tools/  
lavoro/  
programmi/  
spostamento/
```

e dalle seguenti bash shells:

```
Calcola_TUTTO.sh (*)  
cancella_evento.sh  
crea_accelerogrammi.sh (*)  (**)  
guarda_traccia_acc.sh (**)  
guarda_traccia_dis.sh (**)  
guarda_traccia_vel.sh (**)  
lancia_trasformazione.sh  
sincronizza_eventi.sh  
trasforma_ingv_mi.sh  
trasforma_ingv_roma.sh  
trasforma_ingv_sat.sh
```

Nelle shells (\*) si deve configurare il path radice nella prima riga con un qualunque editore di testo, ad esempio:

PATH\_RADICE="/home/user/PROCEDURA".

Nelle shells (\*\*) si deve controllare la versione del software PITSA ("pitsa" o "lpitsa") oppure "linkare" l'eseguibile di PITSA con "pitsa" e "lpitsa" direttamente in /usr/local/bin/ in modo da evitare questo passaggio. Controllare che il file di configurazione "pitsa.cfg" sia letto correttamente dall'eseguibile "lpitsa" configurando opportunamente la variabile di ambiente della home.

(Per maggiori informazioni consultare il manuale di PITSA scaricabile al seguente URL: <http://www.geo.uni-potsdam.de/forschung/Software/pitsa.html> insieme al software).

### 1) SCARICO DATI ASCII TRACCE INGV RSNC SATELLITARI

Dalla macchina Windows sulla quale sono compilati i software "Nanometrics", aprire un terminale DOS con il seguente percorso:

C:\nmx\user\estrai\

eseguire lo script DOS "lancia\_estrai", appositamente realizzato, digitando ad esempio, "lancia\_estrai 2005 09 30 05 43 12 600".

Si estrae in tal modo su tutte le stazioni dell'Italia e della Svizzera alpina l'evento del giorno considerato (in questo caso quello del 30-09-2005 alle

05:43:12, durata 600 sec). In C:\nmx\user\ASCII\ viene creata automaticamente una directory "20050930\_054312".  
Per ricordare la corretta sintassi lanciare solo "lancia\_estrai": compare la scritta di informazione con la sintassi corretta.

## **2) RECUPERO DATI ASCII INGV RSNC SATELLITARI SU PC-LINUX**

Sulla macchina Windows la directory nella quale sono archiviati i dati C:\nmx\user\ASCII\ è condivisa in sola lettura.

2.1) Utilizzando Yast2 (nel caso di sistema operativo Linux Suse) si deve abilitare il client SAMBA sul proprio PC-LINUX. Per fare ciò è necessario andare nei servizi di rete: apparirà un finestra di dialogo nella quale bisogna scrivere il gruppo di lavoro in cui è stata condivisa la directory sotto Windows. Digitare "OK" per uscire.

2.2) Utilizzando l'icona del proprio desktop Linux di "Navigazione reti locali", cliccare su reti Windows in modo tale da fare comparire una finestra di dialogo con un indirizzo: "smp:/".

2.3) Scrivere nella finestra di dialogo l'indirizzo IP della macchina Windows: a questo punto viene richiesto di inserire l'utente e la relativa password.

2.4) Copiare tutte le directory degli eventi che interessano dalla macchina Windows alla propria, in /PROCEDURA/dati\_ASCII/

## **3) RECUPERO DATI SAC BINARIO INGV-MI SU PC-LINUX**

Copiare le directory dei dati SAC binari dalla macchina contenente le registrazioni delle stazioni velocimetriche INGV-MI (Workstation) sul proprio PC nella directory /PROCEDURA/dati\_INGV\_MI/. Nel caso fosse necessario trasferire una considerevole mole di dati, è bene far condividere temporaneamente una parte del disco della propria macchina con la Workstation tramite protocollo NFS; per eseguire questa operazione bisogna possedere i permessi dalla stessa Workstation, che per ragioni di sicurezza non è mai messa in condivisione con altre macchine.

## **4) RECUPERO DATI SAC-SUN BINARIO INGV-ROMA NON SATELLITARI SU PC-LINUX**

Dalla rete è possibile scaricare le forme d'onda pregresse (attualmente disponibile fino al 31-12-2003) registrate dalle stazioni sismiche della rete RSNC (sia mono-componenti sia a tre componenti) in formato SAC-SUN binario. Creare una directory dell'evento in "/PROCEDURA/dati\_INGV\_SCARICATI/formato\_sun" ad es: /PROCEDURA/dati\_INGV\_SCARICATI/formato\_sun/20030914214232/  
In questa directory saranno scaricate ed archiviate tutte le forme d'onda di quell'evento.

## **5) SINCRONIZZAZIONE DI TUTTE LE TRACCE**

Nel caso in cui il tempo di inizio della finestra contenente un evento registrato sia da stazioni della rete RSNC sia da stazioni INGV-MI non corrisponda sarà necessario effettuare una procedura di sincronizzazione dei dati provenienti dalle diverse reti; ad es. se la rete RSNC ha archiviato un evento con data "20030914214232" e la rete INGV-MI ha archiviato il medesimo evento con data "030914214253" bisogna lanciare la shell:

"sincronizza\_eventi.sh".

Questa shell richiede in input la data dell'evento INGV-MI ed INGV-RSNC, confronta quale è il tempo minore indicato dai nomi dei files e rinomina tutta la directory con tempo maggiore ed i file contenuti in essa con il nome

dell'evento con tempo minore. Nell'esempio i nomi dei files INGV-MI saranno rinominati con i nomi della data INGV-RSNC nel formato della rete INGV-MI. Questa shell non agisce sul contenuto dei files che rimane inalterato. Il tempo indicato nel nome del file, ma non nel contenuto di esso, può essere diverso per uno stesso evento registrato dalla rete RSNC e dalle stazioni INGV-MI, poiché esso rappresenta il tempo di inizio della finestra dell'evento; per stazioni INGV-MI esso è 48s prima del trigger di rete configurato (D'Alema E. e Marzorati S., 2004), mentre per stazioni RSNC, registrando in continuo, esso rappresenta il tempo di taglio di inizio finestra dell'evento.

#### 6) "lancia\_trasformazione.sh"

da /PROCEDURA/  
lanciare la shell "lancia\_trasformazione.sh". Questa shell converte tutti i files in formato originale (ascii satellitari, sac-sun, sac-linux) in files ascii ad una colonna compatibili con il software Pitsa. La shell una volta eseguita chiede all'utente il tipo di dato che si vuole analizzare, ed in base alla scelta indicata esegue a sua volta la shell appropriata (*trasforma\_ingv\_mi.sh*, *trasforma\_ingv\_roma.sh*, *trasforma\_ingv\_sat.sh*) a seconda della provenienza del dato considerato. Per effettuare ciascuna trasformazione è necessario inserire la data dell'evento da analizzare. Il risultato della trasformazione sarà un segnale velocimetrico espresso in m/s direttamente inserito in:  
/PROCEDURA/dati\_PITSA/\$EVENTO/\*.pts  
Se si hanno a disposizione tre fonti diverse di dati (stazioni RSNC, satellitari ed INGV-MI) si ripete questo passaggio per tre volte consecutive; il risultato finale sarà archiviato tutto insieme in /PROCEDURA/dati\_PITSA/\$EVENTO/\*.pts  
Durante questi passaggi sono lette direttamente nell'header di ciascuna traccia tutte le informazioni sul sensore col quale è stata registrata la traccia stessa.  
La shell crea inoltre, per l'evento analizzato, un file XY utilizzabile per un semplice plot da realizzarsi ad esempio tramite il software "GMT" (<http://gmt.soest.hawaii.edu/>); i files XY saranno automaticamente inseriti in "/PROCEDURA/dati\_PLOT/velocità/\$EVENTO/\*.plot"

#### 7) "guarda\_tracce\_vel.sh" & "cancella\_evento.sh"

da /PROCEDURA/  
eseguire simultaneamente da terminali differenti le shells "cancella\_evento.sh" e "guarda\_tracce\_vel.sh". La shell "cancella\_evento.sh" sposta le tracce sature (visibili attraverso il plot creato per le medesime dalla shell "guarda\_tracce\_vel.sh) in /PROCEDURA/dati\_SATURI/\$DATA/ ed elimina definitivamente le tracce non utilizzabili (ad es. tracce contenenti spike, segnali alterati o non distinguibili dal rumore di fondo). Questo step è necessario soprattutto per le tracce RSNC che contengono molti impulsi di calibrazione.

Il contemporaneo utilizzo di queste due shells risulta fondamentale in quanto la totale mancanza di un preventivo controllo del dato sismico registrato può condurre a risultati completamente errati in ogni successiva operazione di analisi.

#### 8) "crea\_accelerogrammi.sh"

da /PROCEDURA/  
eseguire la shell "crea\_accelerogrammi.sh".  
La shell è strutturata in due parti: la prima crea un file di input per il software PITSA, lancia il software stesso e rimane in attesa; la seconda elimina i files di lavoro.

Da PITSA (in modalità TRACK MODE) caricare il file "input\_\$STAZ" appena creato, per effettuare un'analisi su una stazione particolare, oppure caricare il file "input\_tutte" per creare gli accelerogrammi, gli spostamenti e gli spostamenti Wood-Anderson relativi a tutte le stazioni disponibili.

Il software PITSA prevede infatti la possibilità di essere utilizzato in modalità di programmazione ("Program mode"). Tutti i files "input\_\*" creati dalla shell "crea\_accelerogrammi.sh" contengono una serie di istruzioni in grado di essere eseguite in un solo passaggio:

- 1) Caricamento tracce in velocità m/s
- 2) Filtraggio nella banda 0.5-20 Hz
- 3) Correzione strumentale a seconda del tipo di sensore utilizzato
- 4) Conversione della traccia velocimetrica in cm/s
- 5) Integrazione del velocigramma per ottenere le tracce in spostamento (in cm)
- 6) Derivazione delle stesse per ottenere tracce in cm/s<sup>2</sup> (accelerogrammi)
- 7) Convoluzione delle tracce in spostamento con la curva Wood-Anderson
- 8) Salvataggio delle tracce in files ASCII

I risultati derivanti dai punti 5 e 6 (integrazione e derivazione) possono essere verificati creando opportuni files poli e zeri (a partire dal file poli e zeri in velocità per ogni sensore, aggiungendo o sottraendo uno zero per ottenere rispettivamente lo spostamento e l'accelerazione) da applicare alle tracce velocimetriche.

Gli accelerogrammi sono salvati in /PROCEDURA/accelerogrammi/tracce/\$DATA/, le tracce in spostamento in /PROCEDURA/spostamento/\$DATA/ e le tracce in spostamento Wood-Anderson in /PROCEDURA/spostamento/\$DATA-WA/ Uscire da PITSA e digitare "ok" sul terminale per eseguire la seconda parte della shell: eliminazione dei files di lavoro.

Per visualizzare le tracce sia in accelerazione sia in spostamento eseguire rispettivamente le shells "guarda\_traccia\_acc.sh" e "guarda\_traccia\_dis.sh".

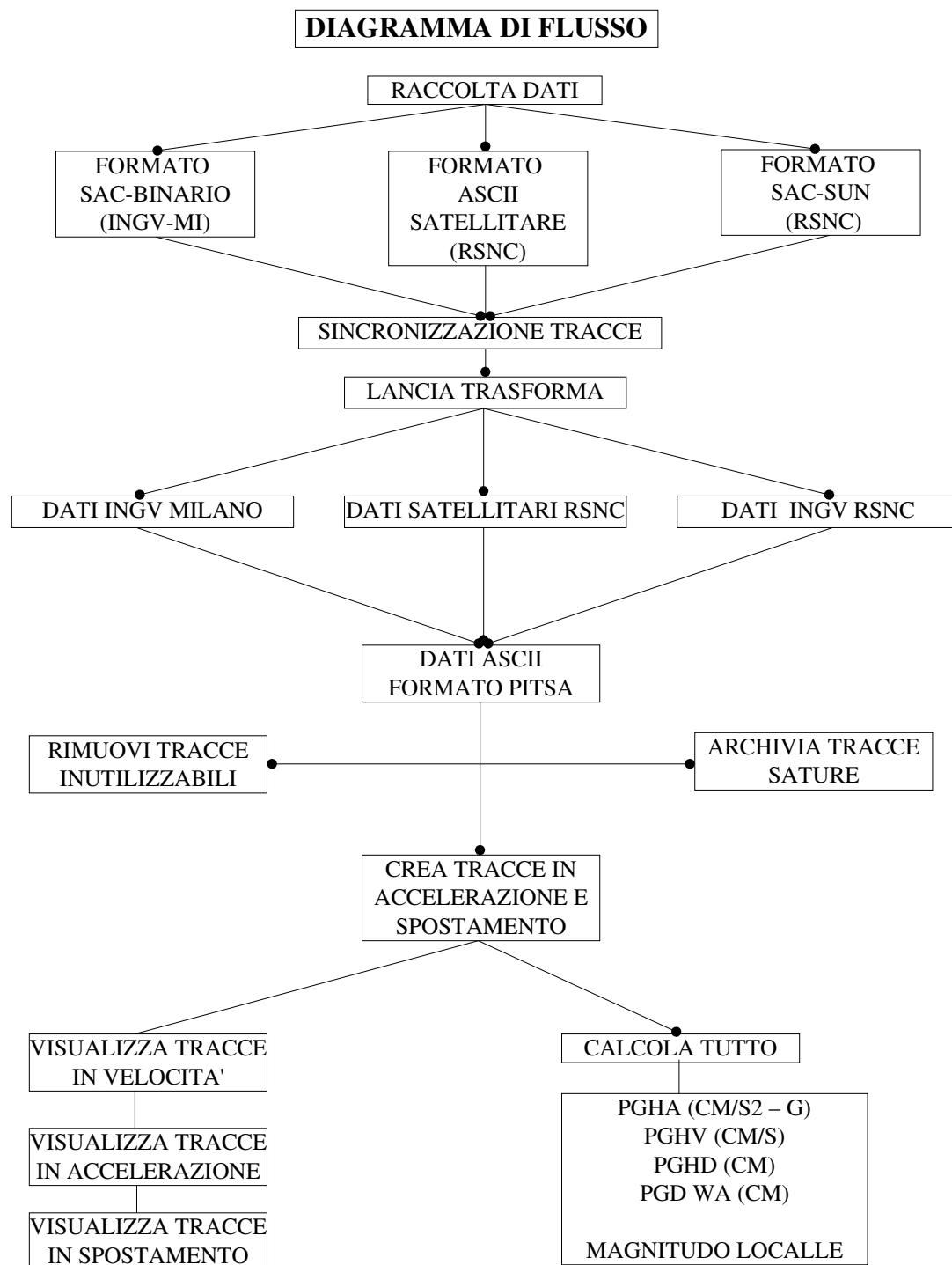
A titolo di confronto questa fase è stata sviluppata anche in ambiente *MATLAB*. Si è scelto di descrivere ed utilizzare *PITSA* in quanto *MATLAB* è un software commerciale.

## 9) "Calcola\_TUTTO.sh"

da /PROCEDURA/  
eseguire la shell "Calcola\_TUTTO.sh", la quale automaticamente calcola PGHA, PGHV, PGHD, PGD-WA e magnitudo locale. Tutti i files di output, sia di testo sia grafici sono inseriti nella directory /PROCEDURA/PGA\_PGV\_PGD/\$DATA/. Per ogni stazione viene calcolato il valore assoluto del picco maggiore tra le due componenti orizzontali. Nel file di testo "TABELLA\_\$DATA" sono riassunti i risultati dell'analisi effettuate: per ogni stazione sono indicate le coordinate, le distanze ipocentro-stazione, la magnitudo di durata e la localizzazione dell'evento (URL <http://www.ingv.it>), i valori di PGHA (in cm/s<sup>2</sup>), di PGHV (cm/s), di PGHD (cm) e di PGD-WA (cm) con la relativa componente, sulla quale è stato calcolato il dato ed il valore di magnitudo locale. Vengono inoltre creati due file grafici postscript tramite il software GMT rappresentanti la mappa delle stazioni alle quali è disponibile il dato di PGHA-PGHV-PGHD-PGDWA e la magnitudo per eventi registrati su tutto il territorio nazionale, chiamato "MAPPA\_\$DATA.ps" (questo file non viene visualizzato automaticamente sul video, se necessario sarà sufficiente editare la shell con un editore di testi scommentando la parte relativa all'output grafico automatico). Il secondo file "PLOT\_CURVE\_\$DATA.ps", che appare automaticamente a video, confronta i dati reali di PGHA-PGHV-PGHD-PGDWA con le curve di attenuazione teoriche in accelerazione e velocità disponibili in bibliografia. Entrambi i files saranno inseriti nella cartella /PROCEDURA/PGA\_PGV\_PGD/\$DATA/



Allo stato attuale l'affidabilità dei risultati provenienti dalla procedura descritta dipende fortemente dalla qualità dei dati contenuti nei differenti data set considerati; l'uniformità e la correttezza delle informazioni contenute negli header della tracce, relative ad un medesimo data set, risultano infatti di fondamentale importanza al fine di una una corretta analisi automatica del dato.



**Figura 1.** Diagramma di flusso della procedura.

### 3. OUTPUT PROCEDURA

**Esempio 1: evento sismico 20030914\_214232 Md 5.0 (Monghidoro - BO).**

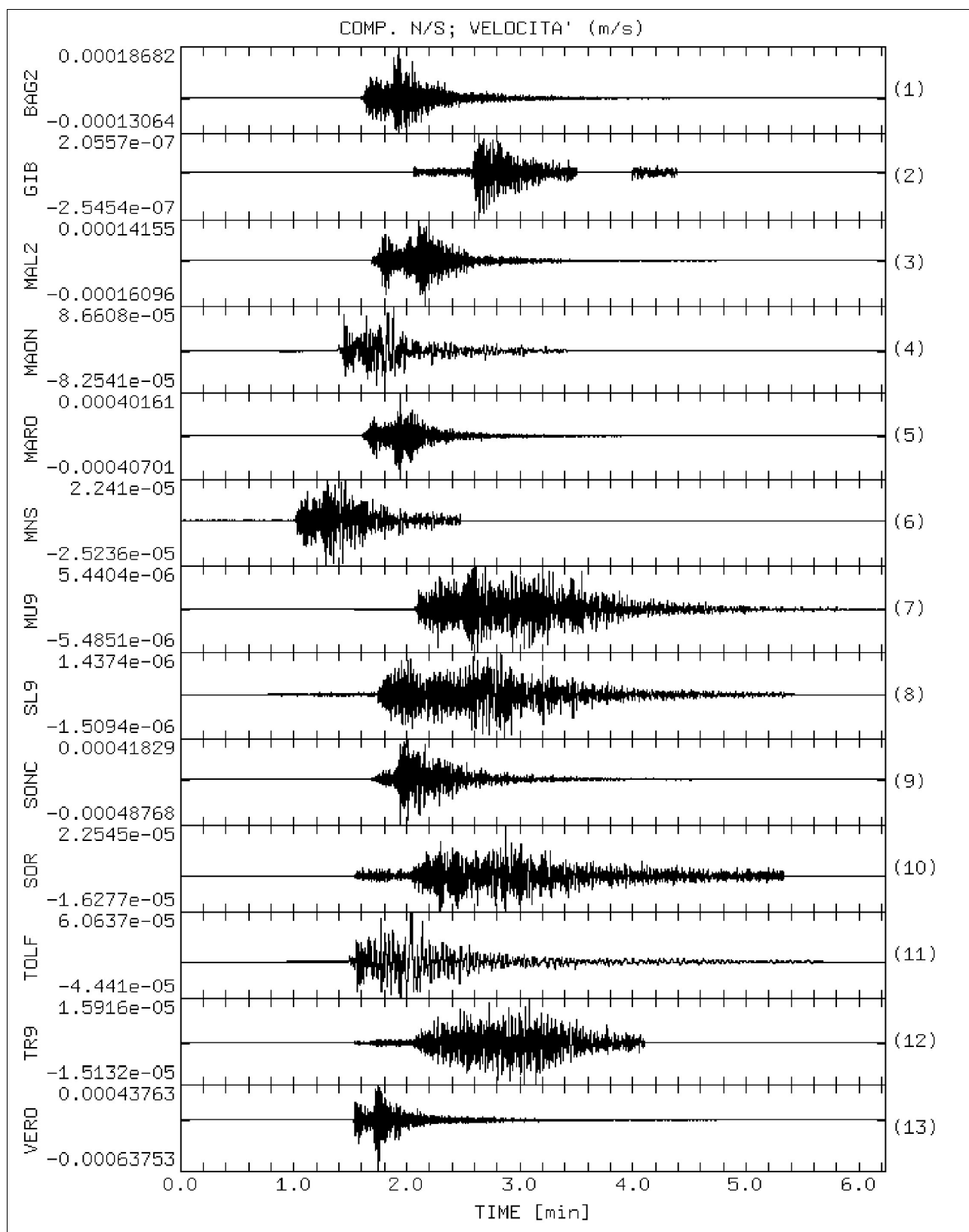
**Esempio 2: evento sismico 20031207\_102000 Md 4.0 (Appennino forlivese).**

**Esempio 3: evento sismico 20050914\_203400 Md 2.4 (Frignano - PR).**

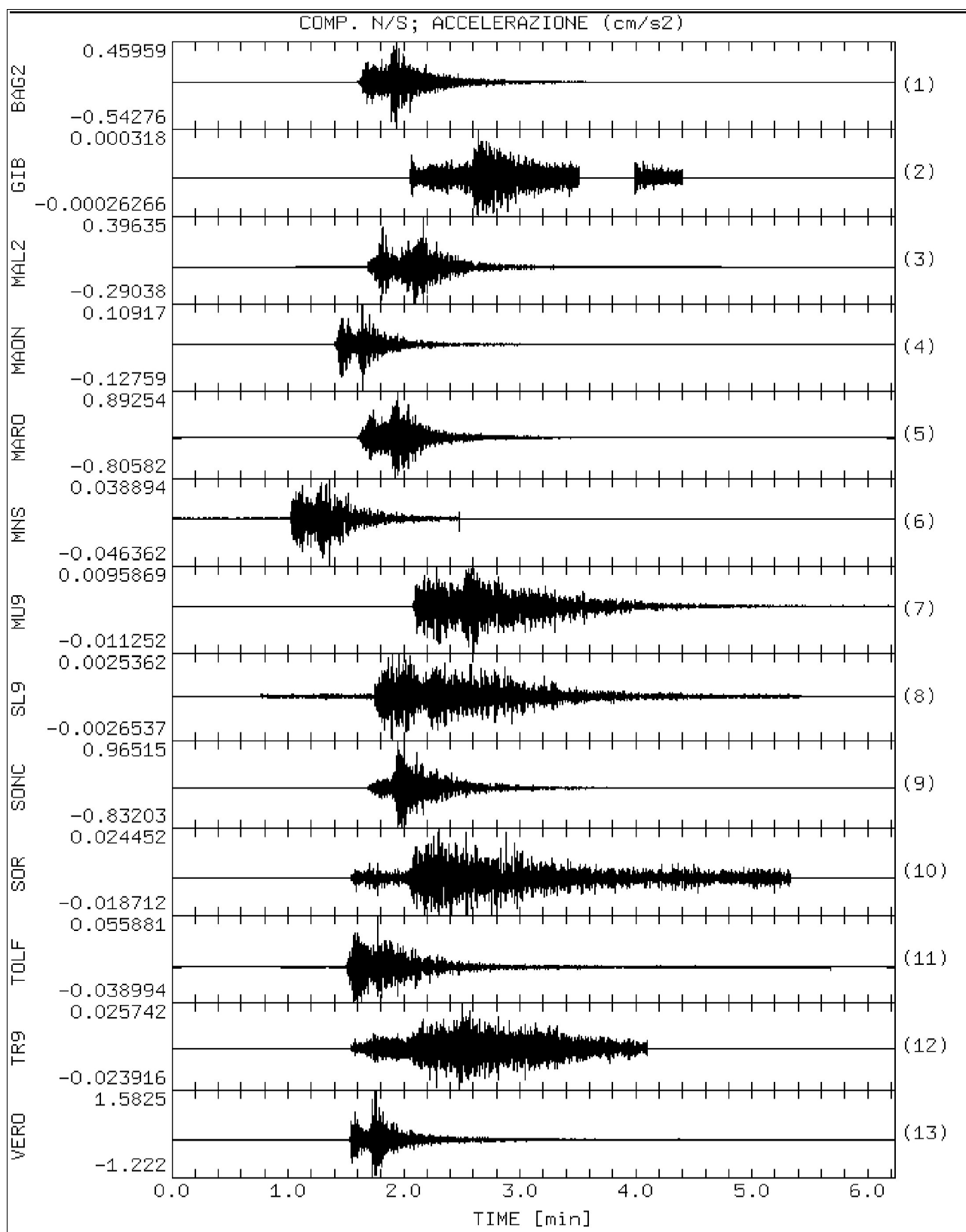
In questo paragrafo vengono presentati i risultati della procedura descritta applicata a tre eventi sismici appositamente selezionati:

- 1) terremoto del 14/09/2003, ore 21:42 (GMT), Md 5.0, localizzato presso il Comune di Monghidoro (Bo) - latitudine 44.25, longitudine 11.38, profondità 8.5 Km (URL <http://www.ingv.it>) - e registrato sia da stazioni INGV-MI sia da stazioni RSNC non satellitari;
- 2) terremoto del 07/12/2003, ore 10:20 (GMT), Md 4.0, localizzato nell'appennino forlivese - latitudine 44.16, longitudine 12.18, profondità 9.1 Km (URL <http://www.ingv.it>) - e registrato sia da stazioni INGV-MI sia da stazioni RSNC non satellitari;
- 3) terremoto del 14/09/2005, ore 20:34 (GMT), Md 2.4, localizzato in Provincia di Parma - latitudine 44.47, longitudine 10.19, profondità 16.0 Km (URL <http://www.ingv.it>) - e registrato sia da stazioni INGV-MI sia da stazioni satellitari della rete RSNC.

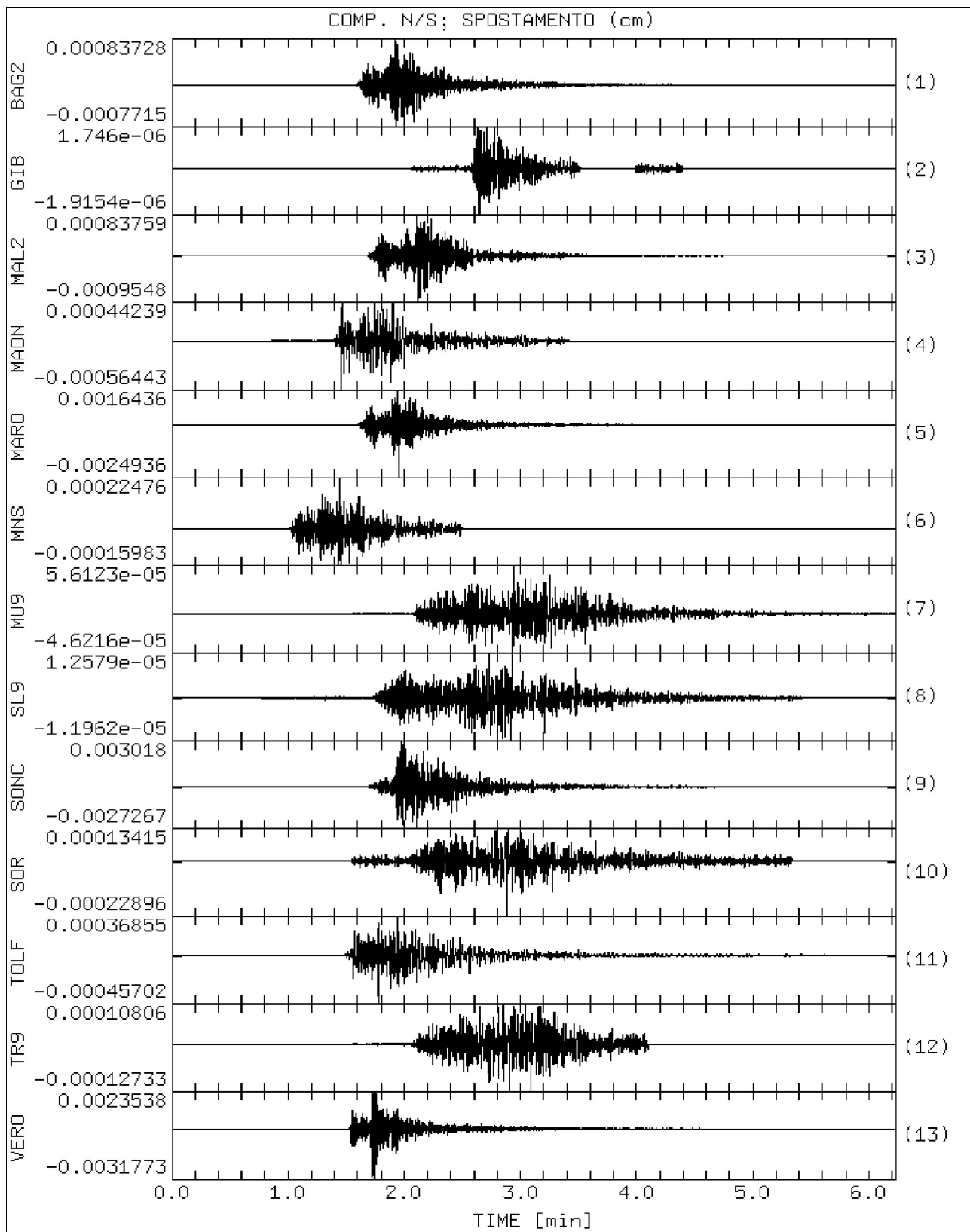
Per ogni evento selezionato le forme d'onda sono state sincronizzate, ed a seguito di un'analisi visiva, accuratamente selezionate. In figura 2 sono riportate le componenti orizzontali (NS) delle tracce velocimetriche registrate ad ogni stazione per l'evento del 14 settembre 2003. Nelle figure 3 e 4 sono riportate rispettivamente le relative tracce in accelerazione ed in spostamento. I risultati grafici della procedura sono visualizzati nelle figure 5a, 5b, 5c, 6a, 6b e 6c: nelle figure 5a, 5b e 5c sono raffigurate, per ogni evento considerato, l'epicentro, le stazioni alle quali sono stati calcolati i parametri di PGHA-PGHV-PGHD-PGD\_WA ed i relativi raggi ipocentro-stazione; nelle figure 6a, 6b e 6c sono confrontate alcune curve teoriche di attenuazione (Sabetta and Pugliese, 1996, calcolate per tutto il territorio italiano a partire da dati strong motion; Ambraseys, 1996a,b, calcolate da dati strong motion registrati in diverse nazioni europee; Frisenda et al. 2005, definite per l'Italia Nord occidentale a partire da dati weak motion) calcolate in funzione della magnitudo dell'evento con i valori reali di picco (PGHA e PGHV) calcolati tramite la procedura descritta.



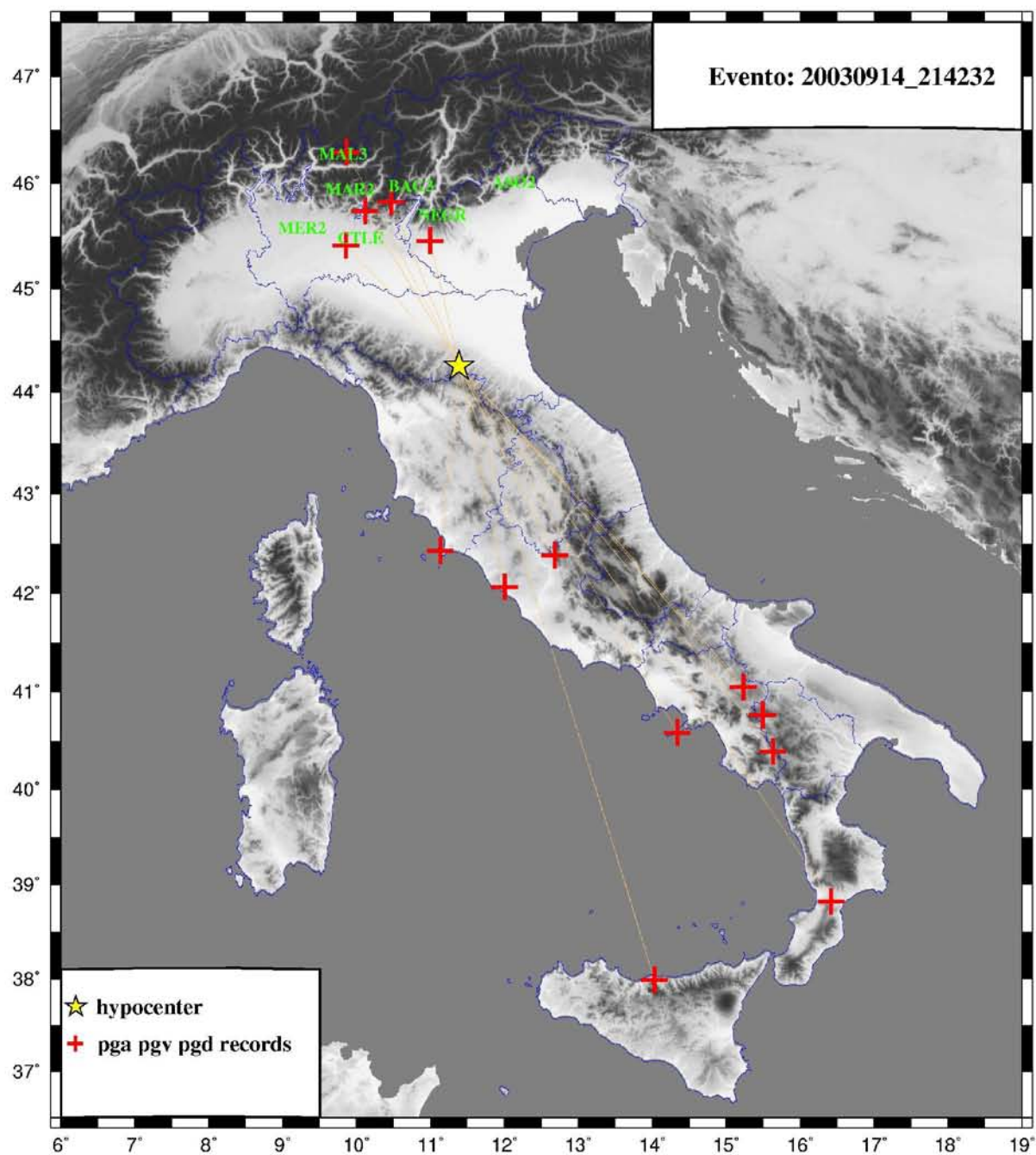
**Figura 2. Evento 20030914\_214232** - Visualizzazione delle tracce velocimetriche registrate da 13 stazioni a 3 componenti appartenenti sia alla rete velocimetrica INGV-MI (stazioni BAG2, MAL2, MARO, SONC, VERO) sia alla rete RSNC (nell'esempio sono visualizzate le componenti NS del terremoto considerato, non sincronizzate).



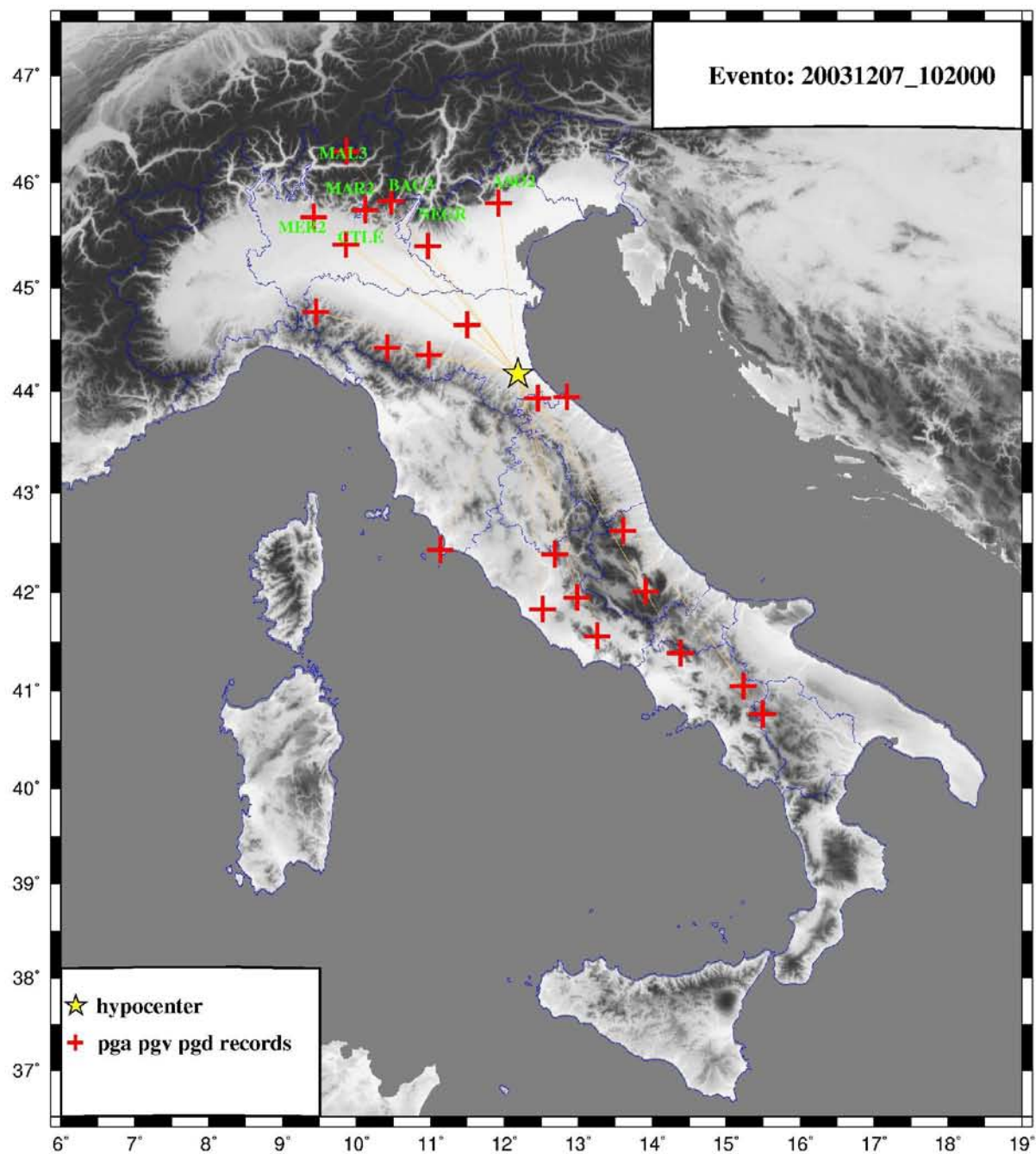
**Figura 3. Evento 20030914\_214232** - Visualizzazione per le stazioni selezionate delle tracce accelerometriche ottenute a partire dalle tracce velocimetriche, corrette per la risposta strumentale e successivamente derivate (componenti NS del terremoto considerato, non sincronizzate).



**Figura 4. Evento 20030914\_214232** - Visualizzazione per le stazioni selezionate delle tracce in spostamento ottenute a partire dalle tracce velocimetriche, corrette per la risposta strumentale e successivamente integrate (componenti NS del terremoto considerato, non sincronizzate).

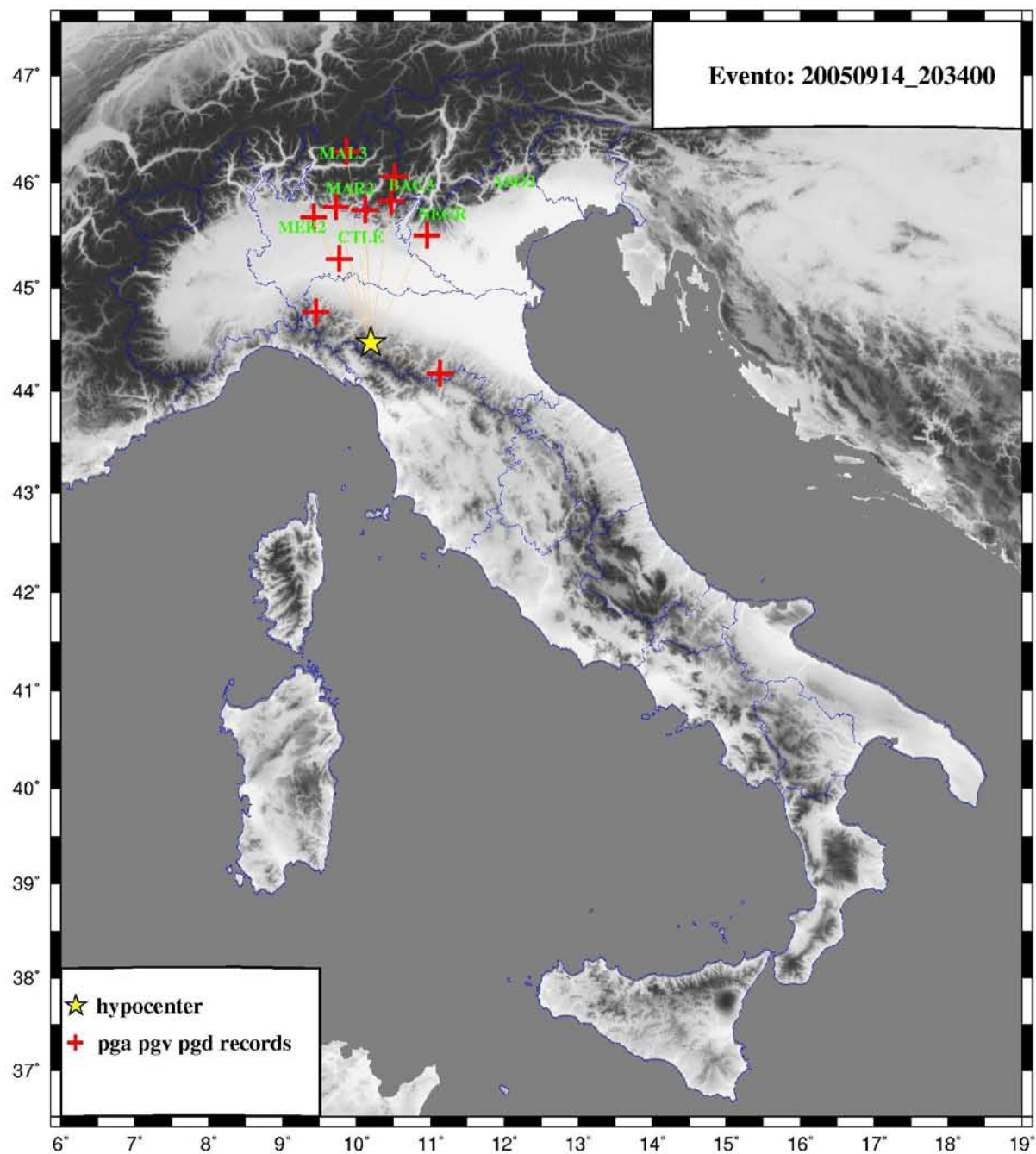


**Figura 5a. Evento 20030914\_214232** - Mappa indicante tutte le stazioni sismiche velocimetriche a tre componenti (in verde sono indicate le stazioni INGV-MI) che hanno registrato l'evento sismico analizzato ed in corrispondenza delle quali è stato possibile effettuare il calcolo dei valori di PGHA, PGHV, PGHD, PGD-WA e MI. Sia le tracce sismiche saturate sia quelle non distinguibili dal rumore di fondo sono state eliminate a priori.



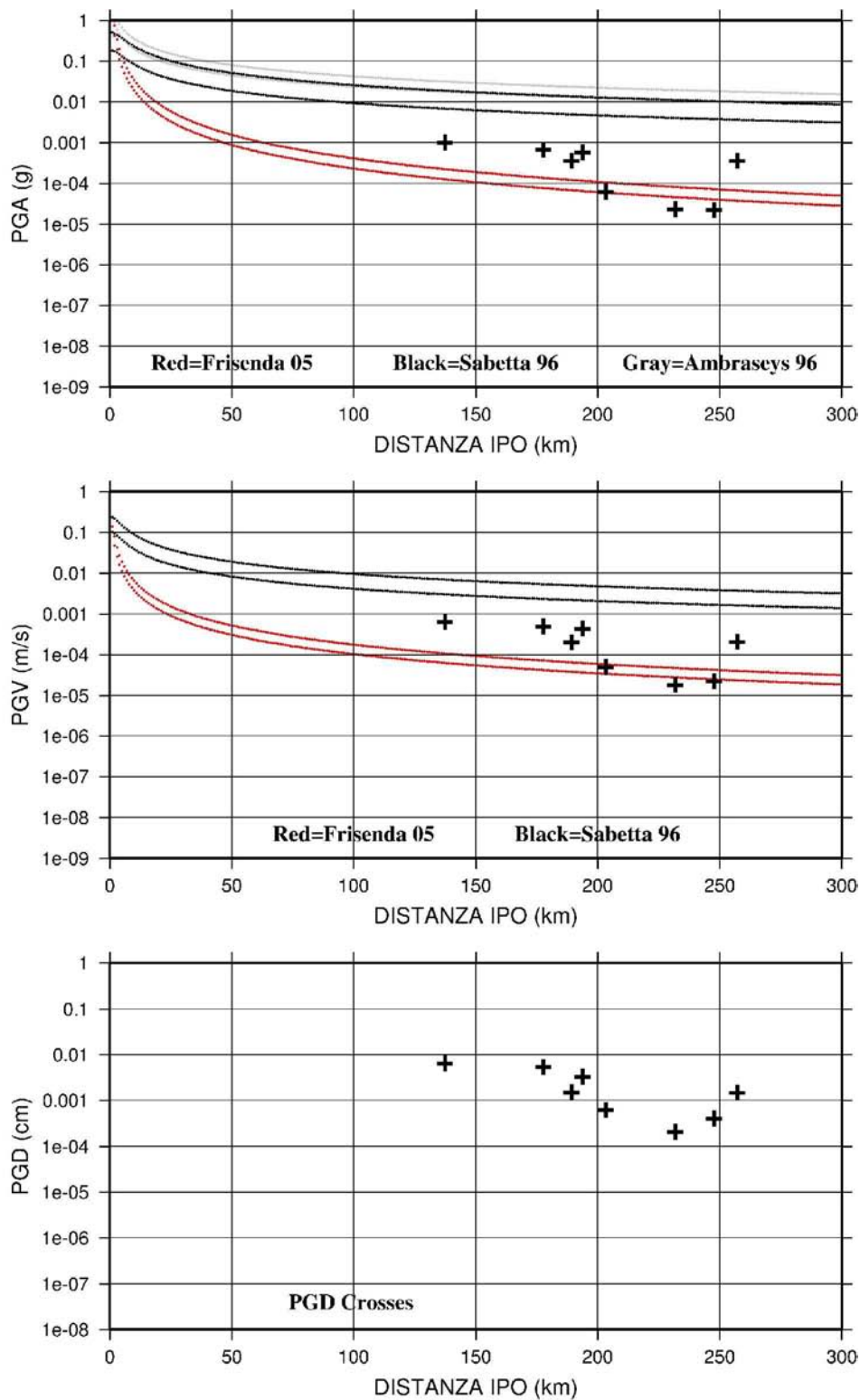
**Figura 5b. Evento 20031207\_102000** - Mappa indicante tutte le stazioni sismiche velocimetriche a tre componenti (in verde sono indicate le stazioni INGV-MI) che hanno registrato l'evento sismico analizzato ed in corrispondenza delle quali è stato possibile effettuare il calcolo dei valori di PGHA, PGHV, PGHD, PGD-WA e MI. Sia le tracce sismiche saturate sia quelle non distinguibili dal rumore di fondo sono state eliminate a priori.





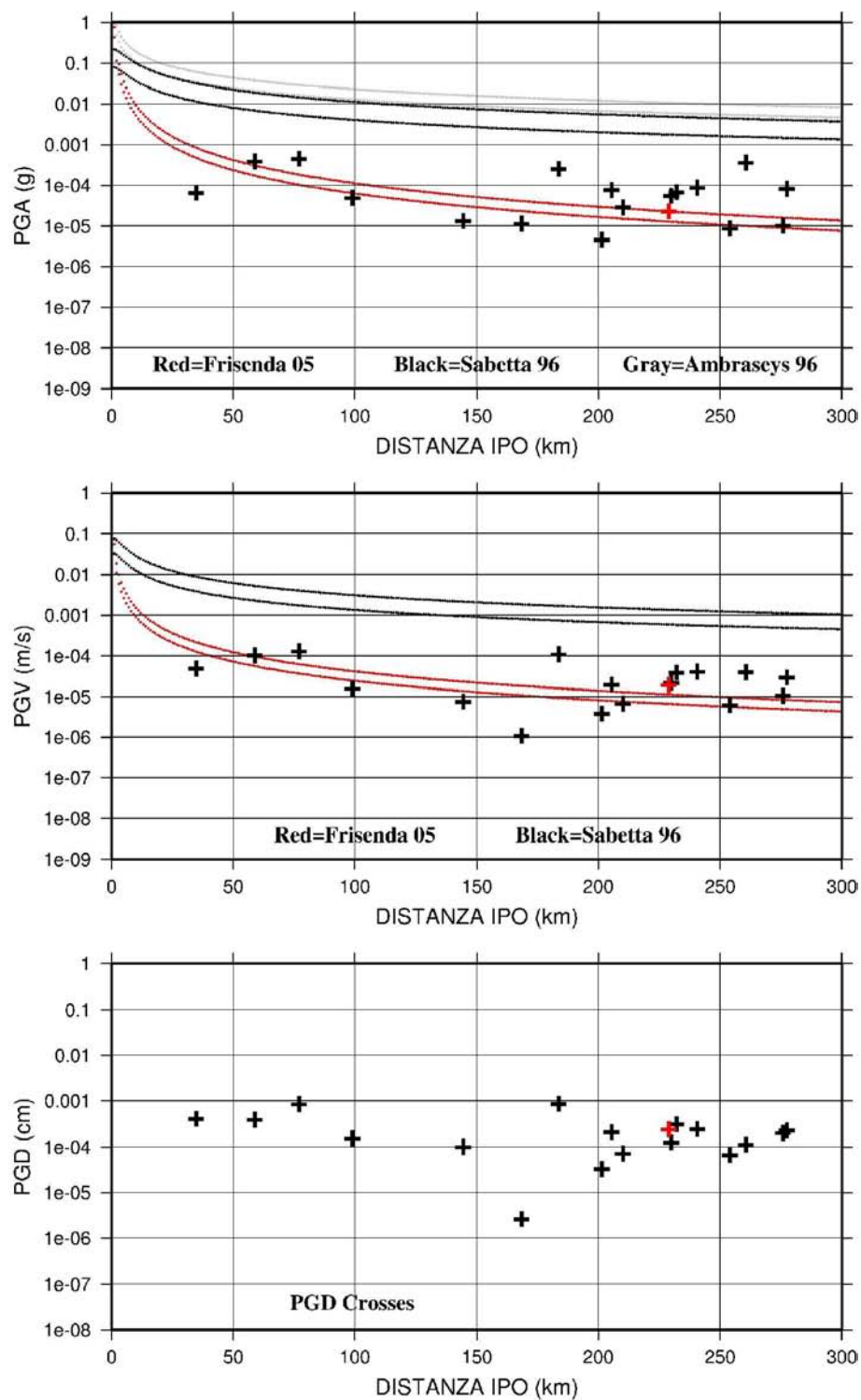
**Figura 5c. Evento 20050914\_203400** - Mappa indicante tutte le stazioni sismiche velocimetriche a tre componenti (in verde sono indicate le stazioni INGV-MI) che hanno registrato l'evento sismico analizzato ed in corrispondenza delle quali è stato possibile effettuare il calcolo dei valori di PGHA, PGHV, PGHD, PGD-WA e MI. Sia le tracce sismiche saturate sia quelle non distinguibili dal rumore di fondo sono state eliminate a priori.





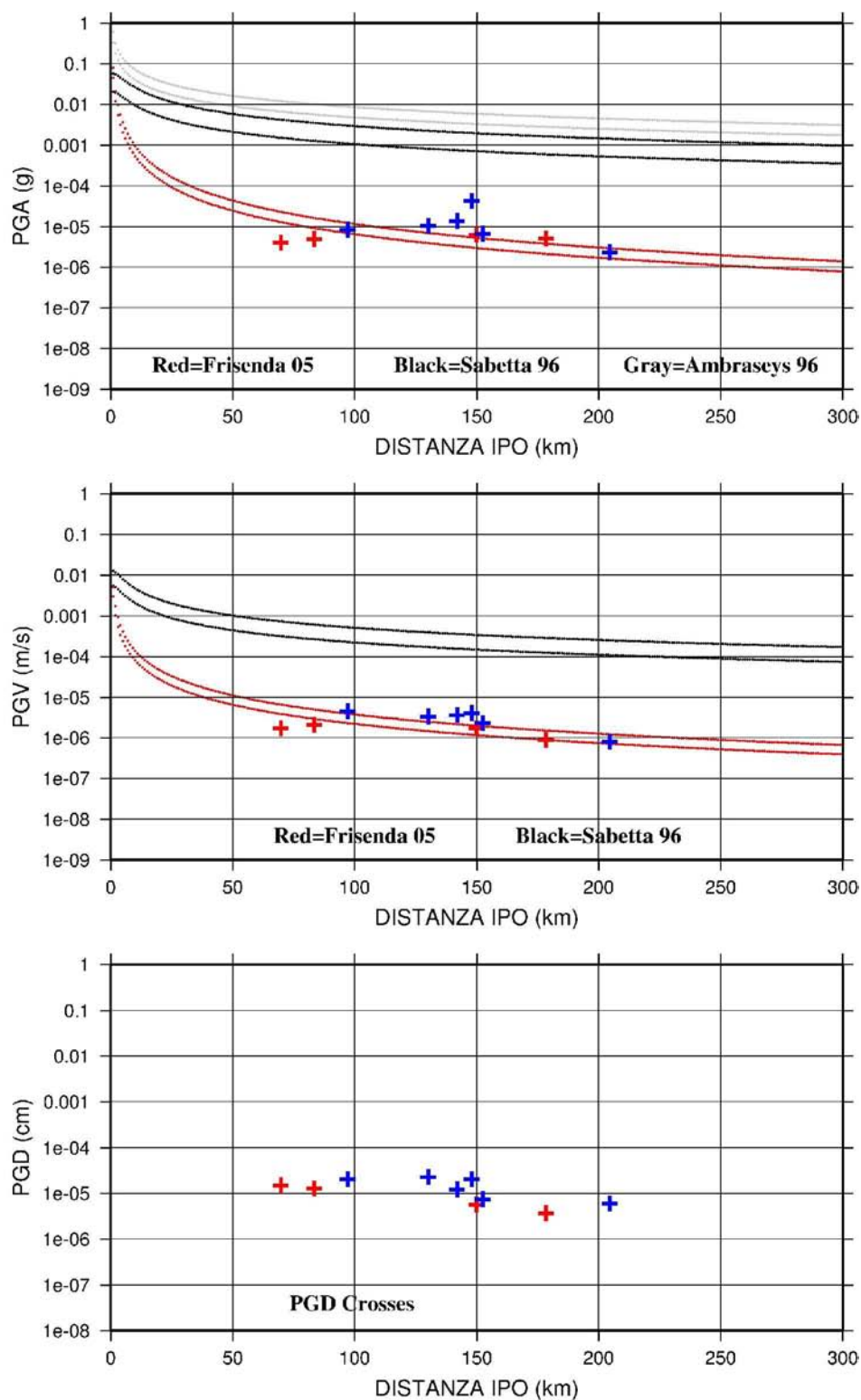
**EVENTO ANALIZZATO : 20030914\_214232**

**Figura 6a. Evento 20030914\_214232** - Confronto dei dati reali di PGHV registrati e di PGHA calcolati per il terremoto considerato con i valori teorici rappresentati da alcune curve di attenuazione in accelerazione (g) e velocità (m/s) disponibili in bibliografia. Per ogni legge di attenuazione sono riportate rispettivamente la curva riferita ad eventi registrati da stazioni installate sia su roccia (curve con valori minori) sia su terreni caratterizzati da possibili fenomeni di amplificazione. Eventuali simboli rossi e blu indicano rispettivamente stazioni ad oggi satellitari ed INGV-MI attuali.



**EVENTO ANALIZZATO : 20031207\_102000**

**Figura 6b. Evento 20031207\_102000** - Confronto dei dati reali di PGHV registrati e di PGHA calcolati per il terremoto considerato con i valori teorici rappresentati da alcune curve di attenuazione in accelerazione (g) e velocità (m/s) disponibili in bibliografia. Per ogni legge di attenuazione sono riportate rispettivamente la curva riferita ad eventi registrati da stazioni installate sia su roccia (curve con valori minori) sia su terreni caratterizzati da possibili fenomeni di amplificazione. I simboli rossi e blu indicano rispettivamente le stazioni ad oggi satellitari (es: Bobbio in figura) ed INGV-MI.



**EVENTO ANALIZZATO : 20050914\_203400**

**Figura 6c. Evento 20050914\_203400** - Confronto dei dati reali di PGHV registrati e di PGHA calcolati per il terremoto considerato con i valori teorici rappresentati da alcune curve di attenuazione in accelerazione (g) e velocità (m/s) disponibili in bibliografia. Per ogni legge di attenuazione sono riportate rispettivamente la curva riferita ad eventi registrati da stazioni installate sia su roccia (curve con valori minori) sia su terreni caratterizzati da possibili fenomeni di amplificazione. I simboli rossi e blu indicano rispettivamente le stazioni ad oggi satellitari ed INGV-MI.

## TABELLE

Per ogni evento sismico processato vengono fornite in uscita 6 tabelle parziali ed una tabella riassuntiva contenente tutte le informazioni relative all'evento stesso. Ciascuna delle 6 tabelle parziali riporta relativamente a ciascun evento analizzato, oltre alle informazioni relative alla localizzazione dell'evento stesso ed alle coordinate delle stazioni che lo hanno registrato, i valori di picco in accelerazione (espressi in g ed in cm/s<sup>2</sup>), in velocità (espressi in m/s ed in cm/s) ed in spostamento (in m ed in cm). La tabella sotto riportata si riferisce ad i valori di PGHA espressi in cm/s<sup>2</sup> calcolati per l'evento del settembre 2003 verificatosi nei pressi di Monghidoro (BO).

ST-----	LoST-----	LaST-----	DiHY-----	Ml-----	LoEV-----	LaEV-----	PrEV----	PGHA (cm/s <sup>2</sup> )	CP
BAG2	10.4664	45.8228	189.45	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.5427550	NS
GIB	14.0262	37.9903	726.41	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0003180	NS
GRI	16.4200	38.8221	725.01	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0004499	EW
MAL2	9.8636	46.2918	257.21	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.5703090	EW
MAON	11.1309	42.4283	203.37	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.1275870	NS
MARO	10.1175	45.7397	193.95	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.8925360	NS
MNS	12.6811	42.3855	231.82	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0463622	NS
MU9	15.4890	40.7620	507.96	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0112521	NS
SL9	15.6330	40.3900	547.19	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0039475	EW
SONC	9.8554	45.4123	177.75	5.0	11.3800	44.2500	8.50	1.0992500	EW
SOR	14.3350	40.5820	470.88	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0417088	EW
TOLF	12.0002	42.0641	247.80	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0558812	NS
TR9	15.2320	41.0458	470.67	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0579480	EW
VERO	10.9941	45.4546	137.49	5.0	11.3800	44.2500	8.50	1.5825200	NS

*Calcolo della PGHA in cm/s<sup>2</sup>*

ESEMPIO 1:

TABELLA RIASSUNTIVA

# EVENTO ANALIZZATO : 20030914_214232															
# ML MEDIA CALCOLATA - DIST IPO <= 300 km - : 4.84															
#	LoST	LaST	DiHY	Md	LoEV	LaEV	PrEV	PGA (cm/s2)	CP	PGV (cm/s)	CP	PGD (cm)	CP	PGDWA (cm)	CP
#	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST
VERO	10.9941	45.4546	137.49	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.9875920	NS	0.0627864	NS	0.0064507	EW	7.9014802	EW
SONC	9.8554	45.4123	177.75	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.6555370	EW	0.0495008	EW	0.0053402	EW	7.3384900	EW
BAG2	10.4664	45.8228	189.45	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.3470260	NS	0.0201061	NS	0.0015010	EW	2.3090601	NS
MARO	10.1175	45.7397	193.95	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.5617290	NS	0.0431667	NS	0.0032871	NS	5.2983198	NS
MAON	11.1309	42.4283	203.37	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0600306	NS	0.0049385	NS	0.0006199	NS	0.7817280	NS
MNS	12.6811	42.3855	231.82	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0226745	NS	0.0018084	NS	0.0002071	EW	0.2530640	EW
TOLF	12.0002	42.0641	247.80	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0214720	NS	0.0022333	EW	0.0004079	NS	0.3683710	NS
MAL2	9.8636	46.2918	257.21	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.3529170	EW	0.0204347	EW	0.0014536	EW	2.2312000	EW
TR9	15.2320	41.0458	470.67	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0345293	EW	0.0011096	EW	0.0001158	EW	0.1231110	NS
SOR	14.3350	40.5820	470.88	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0189907	EW	0.0016629	EW	0.0002481	EW	0.2954780	EW
MU9	15.4890	40.7620	507.96	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0054247	NS	0.0004358	EW	0.0000507	NS	0.0628922	EW
SL9	15.6330	40.3900	547.19	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0018388	EW	0.0001618	EW	0.0000163	EW	0.0242968	EW
GRI	16.4200	38.8221	725.01	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0005604	EW	0.0000077	EW	0.0000008	NS	0.0007986	EW
GIB	14.0262	37.9903	726.41	5.0	11.3800	44.2500	8.50	0.0001425	NS	0.00000151	EW	0.0000020	EW	0.0018967	EW

ST = sigla stazione

LoST = longitudine stazione

LaST = latitudine stazione

DiHY = distanza ipocentrale evento-stazione

Md = magnitudo durata (da catalogo)

LoEV = longitudine evento

LaEV = latitudine evento

PrEV = profondità evento (Km)

PGHA = picco di massima accelerazione (valore assoluto maggiore misurato su entrambe le componenti)

PGHV = picco di massima velocità (valore assoluto maggiore misurato su entrambe le componenti)

PGHD = picco di massimo spostamento (valore assoluto maggiore misurato su entrambe le componenti)

PGHD-WA = picco di massimo spostamento Wood Anderson (valore assoluto maggiore misurato su entrambe le componenti)

MI = magnitudo locale calcolata a partire dalle ampiezze Wood Anderson

ESEMPIO 2:

TABELLA RIASSUNTIVA

#	# EVENTO ANALIZZATO : 20031207_102000															#	
#	# ML MEDIA CALCOLATA - DIST IPO <= 300 km - : 3.76															#	
#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
#	ST	LoST	LaST	DiHY	Md	LoEV	LaEV	PrEV	PGA (cm/s2)	CP	PGV (cm/s)	CP	PGD (cm)	CP	PGDWA (cm)	CP	ML
RSM	12.4497	43.9303	34.80	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0643561	NS	0.0047449	NS	0.0003997	EW	0.5830590	NS	3.01	
PESA	12.8402	43.9411	58.95	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.3805660	EW	0.0101984	NS	0.0003841	EW	0.7324670	EW	3.44	
FIU	11.4916	44.6403	77.04	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.4403680	NS	0.0128167	EW	0.0008384	EW	1.3003800	EW	3.88	
ZCCA	10.9765	44.3508	98.96	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0473114	EW	0.0015550	NS	0.0001514	NS	0.2282650	NS	3.34	
EREM	10.4127	44.4194	144.53	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0127611	EW	0.0007469	EW	0.0000996	NS	0.1046440	EW	3.33	
VER2	10.9609	45.3970	168.49	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0108815	NS	0.0001131	NS	0.0000026	NS	0.0053194	NS	2.14	
ASOL	11.9180	45.8049	183.79	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.2472190	NS	0.0106795	EW	0.0008669	NS	1.2909800	NS	4.58	
MNS	12.6811	42.3855	201.43	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0044361	NS	0.0003824	NS	0.0000329	EW	0.0501541	NS	3.23	
TERO	13.6039	42.6228	205.55	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0738715	EW	0.0019613	NS	0.0002080	EW	0.2356470	NS	3.93	
MAON	11.1309	42.4283	210.15	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0275366	NS	0.0006631	NS	0.0000709	NS	0.0768764	NS	3.47	
BOB	9.4478	44.7679	228.87	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0223986	EW	0.0018993	EW	0.0002361	EW	0.2345740	EW	4.07	
BAG2	10.4664	45.8228	229.92	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0528151	NS	0.0021435	NS	0.0001234	EW	0.2273670	NS	4.06	
SONC	9.8554	45.4123	232.23	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0659616	EW	0.0038386	EW	0.0003079	NS	0.4563850	EW	4.38	
MARO	10.1175	45.7397	240.79	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0845160	NS	0.0040099	NS	0.0002437	NS	0.4238840	NS	4.39	
CERT	12.9818	41.9490	254.04	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0082917	EW	0.0006108	EW	0.0000664	EW	0.0799617	EW	3.74	
ROM9	12.5155	41.8284	260.58	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.3530780	NS	0.0038826	EW	0.0001117	NS	0.1119810	NS	3.92	
INTR	13.9046	42.0115	275.86	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0099824	NS	0.0010497	NS	0.0001995	NS	0.1763460	NS	4.19	
MERA	9.4182	45.6725	277.51	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0797629	EW	0.0028915	EW	0.0002239	NS	0.3772600	NS	4.53	
MAL2	9.8636	46.2918	300.52	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0671282	EW	0.0025137	EW	0.0001457	EW	0.2748030	EW	4.49	
GIUL	13.2546	41.5593	301.66	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0010329	NS	0.0000635	NS	0.0000120	NS	0.0099653	NS	3.06	
SGG	14.3791	41.3866	354.88	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.2143740	NS	0.0028879	NS	0.0002517	NS	0.3967160	NS	4.87	
TR9	15.2320	41.0458	423.49	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0356595	NS	0.0009040	NS	0.0000253	NS	0.0491206	NS	4.19	
MU9	15.4890	40.7620	461.08	4.0	12.1800	44.1620	9.16	0.0012521	NS	0.0000910	NS	0.0000088	NS	0.0132201	NS	3.73	

ST = sigla stazione  
LoST = longitudine stazione  
LaST = latitudine stazione  
DiHY = distanza ipocentrale evento-stazione  
Md = magnitudo durata (da catalogo)  
LoEV = longitudine evento  
LaEV = latitudine evento  
PrEV = profondità evento (km)  
PGHA = picco di massima accelerazione (valore assoluto maggiore misurato su entrambe le componenti)  
PGHV = picco di massima velocità (valore assoluto maggiore misurato su entrambe le componenti)  
PGHD = picco di massimo spostamento (valore assoluto maggiore misurato su entrambe le componenti)  
PGHD-WA = picco di massimo spostamento Wood Anderson (valore assoluto maggiore misurato su entrambe le componenti)  
MI = magnitudo locale calcolata a partire dalle ampiezze Wood Anderson

TABELLA RIASSUNTIVA

# EVENTO ANALIZZATO : 20050914_203400																	
#	# ML MEDIA CALCOLATA - DIST IPO <= 300 km - : 2.50																
#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
#	ST	LoST	LaST	DiHY	Md	LoEV	LaEV	PrEV	PGA (cm/s2)	CP	PGV (cm/s)	CP	PGD (cm)	CP	PGDWA (cm)	CP	M1
#	BOB	9.4478	44.7679	69.82	2.4	10.1900	44.4700	16.00	0.0039246	EW	0.0001663	EW	0.0000150	EW	0.0207836	EW	2.01
	FNVD	11.1229	44.1678	83.37	2.4	10.1900	44.4700	16.00	0.0048047	EW	0.0002123	EW	0.0000128	EW	0.0215587	EW	2.17
	CTLE	9.7622	45.2763	97.15	2.4	10.1900	44.4700	16.00	0.0082427	EW	0.0004499	EW	0.0000203	NS	0.0427400	EW	2.61
	NEGR	10.9482	45.4976	130.18	2.4	10.1900	44.4700	16.00	0.0103490	NS	0.0003420	EW	0.0000226	EW	0.0417865	EW	2.85
	MAR2	10.1175	45.7397	141.96	2.4	10.1900	44.4700	16.00	0.0134250	EW	0.0003567	EW	0.0000121	EW	0.0251104	EW	2.69
	MER2	9.4182	45.6725	147.93	2.4	10.1900	44.4700	16.00	0.0414290	NS	0.0004127	EW	0.0000203	NS	0.0391374	NS	2.91
	MDI	9.7160	45.7700	150.05	2.4	10.1900	44.4700	16.00	0.0062232	EW	0.0001714	EW	0.0000057	NS	0.0113340	EW	2.39
	BAG3	10.4664	45.8228	152.62	2.4	10.1900	44.4700	16.00	0.0066185	EW	0.0002304	EW	0.0000074	EW	0.0161776	NS	2.55
	MABI	10.5140	46.0549	178.54	2.4	10.1900	44.4700	16.00	0.0048669	EW	0.0000917	EW	0.0000037	EW	0.0067683	EW	2.28
	MAL3	9.8636	46.2918	204.53	2.4	10.1900	44.4700	16.00	0.0022220	NS	0.0000818	EW	0.0000060	EW	0.0096496	EW	2.54

ST = sigla stazione  
LoST = longitudine stazione  
LaST = latitudine stazione  
DiHY = distanza ipocentrale evento-stazione  
Md = magnitudo durata (da catalogo)  
LoEV = longitudine evento  
LaEV = latitudine evento  
PrEV = profondità evento (Km)  
PGHA = picco di massima accelerazione (valore assoluto maggiore misurato su entrambe le componenti)  
PGHV = picco di massima velocità (valore assoluto maggiore misurato su entrambe le componenti)  
PGHD = picco di massimo spostamento (valore assoluto maggiore misurato su entrambe le componenti)  
PGHD-WA = picco di massimo spostamento Wood Anderson (valore assoluto maggiore misurato su entrambe le componenti)  
MI = magnitudo locale calcolata a partire dalle ampiezze Wood Anderson

## Bibliografia

Ambraseys, N.N. (1996,a): "Prediction of horizontal response spectra in Europe", EESD 25, 371-400 pp.

Ambraseys, N.N. (1996,b): "Prediction of horizontal response spectra in Europe", EESD 25, 401-412 pp.

D'Alema, E., S. Marzorati (2004). Metodologie per l'installazione e la gestione delle stazioni sismiche Mars88 Modem Control. *Rapporti Tecnici dell'INGV n° 21*.

Frisenda M., Massa M., Spallarossa D., Ferretti G. and Eva C. (2005) : "Attenuation relationship for low magnitude earthquakes using standard seismometric records", Journal of Earthquake Engineering, vol. 9, n 1, 23-40 pp.

Lennartz electronic GmbH, MARS88/MC Operating Manual. Documents Number: 990-0013 Part Number: 252-0009 with 352-0037 ., URL: <http://www.lennartz-electronics.de>. pp. 150.

Nanometrics Seismological Instruments. Trillium Seismometer User Guide (2003). URL: <http://www.nanometrics.ca> pp. 24.

Sabetta F. and Pugliese A. (1996) : "Estimation of response spectra and simulation of non stationary earthquake ground motions", Bull. Seism. Soc. Am., 86, 337-352 pp.

URL:

<http://gmt.soest.hawaii.edu/>

<http://www.llnl.gov/sac/>

[http://www.kinematics.com/product\\_Content.asp?newsid=111](http://www.kinematics.com/product_Content.asp?newsid=111)

<http://www.geo.uni-potsdam.de/forschung/Software/pitsa.html>

<http://waves.ingv.it/index-database.html>

<http://www.ingv.it/>